

Naam: \_\_\_\_\_ Klas: \_\_\_\_\_

# Practicum: Waterbarometer

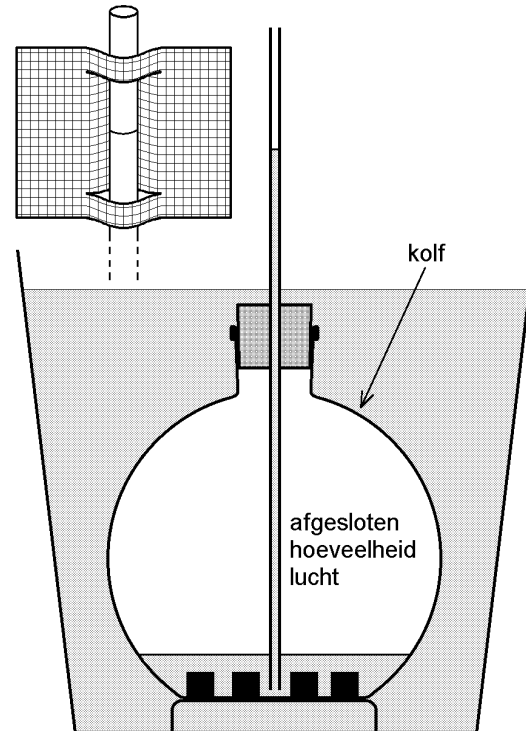
## Doel van de proef

Bepaling van het hoogteverschil tussen de keldervloer en de vloer van de bovenste verdieping van het schoolgebouw met behulp van een waterbarometer.

## Opstelling

In de figuur hiernaast is een waterbarometer getekend. In de bolvormige kolf zit een laagje water. De kolf is afgesloten met een rubberstop. Door de stop steekt een smalle glazen buis die aan de onderzijde in het water steekt. Via de buis wordt in de kolf (beetje bij beetje) extra lucht geblazen totdat het water in de buis ruim boven de stop uitkomt. Als het waterniveau in de buis verandert, zal dat nauwelijks tot een ander waterniveau in de kolf leiden. Daarom heeft de lucht in de kolf bij benadering een constant volume.

De kolf bevindt zich in een emmer met water. Het water in de emmer houdt de temperatuur van de kolf en de lucht in de kolf vrijwel constant. Daardoor is de luchtdruk in de kolf ook constant. Op de bodem van de kolf liggen blokjes lood om te voorkomen dat de kolf gaat drijven. Op de bodem van de emmer ligt een petrischaal of een ander bakje om ervoor te zorgen dat er ook water onder de kolf zit.



Voordat de hoogtemeting gedaan kan worden, moet de waterbarometer eerst in de evenwichtssituatie komen. In dat geval verandert de waterhoogte in de buis niet meer. Daarna is de waterbarometer klaar voor gebruik. Als de barometer naar een hoger gelegen verdieping van een gebouw gebracht wordt, waar de luchtdruk lager is, stijgt het waterniveau in de buis. Uit de stijging van het waterniveau kan het hoogteverschil in het gebouw berekend worden. Bij het bepalen van de waterstijging is een stukje millimeterpapier, dat om de buis geschoven is, handig. Zie de bovenstaande figuur waarin het stukje papier getekend is.

## Theorie

De luchtdruk in de kolf is hoger dan de druk van de buitenlucht. Het verschil  $\Delta p$  tussen deze drukken zorgt ervoor dat het water in de buis omhoog geduwd wordt. Stel dat  $h$  de hoogte is van het water in de buis boven het water in de kolf. Het verband tussen  $\Delta p$  en  $h$  is dan:

$$\Delta p = \rho_w \cdot g \cdot h$$

Hierin is  $\rho_w$  de dichtheid van water ( $10^3 \text{ kg/m}^3$ ) en  $g$  de valversnelling ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Als je in het gebouw over een afstand  $H$  stijgt, neemt de luchtdruk buiten de kolf af met  $\rho_L \cdot g \cdot H$ . Hierin is  $\rho_L$  de dichtheid van lucht (op zeeniveau ongeveer  $1,3 \text{ kg/m}^3$ ). Hieruit volgt dat bij een stijging over een hoogte  $H$  van 8 meter de luchtdruk met ongeveer 1 millibar daalt (dus een duizendste van de luchtdruk op zeeniveau).

Als je de waterbarometer over een afstand  $H$  laat stijgen, zal de hoogte van de waterkolom in de buis door de lagere luchtdruk toenemen met een bedrag:

$$\Delta h = \frac{\rho_L}{\rho_w} \cdot H.$$

We zien dat in deze eenvoudige formule de valversnelling niet meer voorkomt! Door  $\Delta h$  te meten, kan  $H$  berekend worden.

## Metingen

Bouw de waterbarometer zoals hiervoor beschreven is. Druk de stop goed op de kolf zodat er geen lucht kan ontsnappen. Na het bouwen moet je wachten totdat de waterhoogte niet meer verandert. Voer daarna de volgende metingen uit.

1)

Verplaats de waterbarometer van de keldervloer naar de vloer van de bovenste verdieping.

Bepaal de stijging van het waterniveau in de buis. \_\_\_\_\_

2)

Verplaats de waterbarometer van de vloer van de bovenste verdieping naar de keldervloer.

Bepaal de daling van het waterniveau in de buis. \_\_\_\_\_

Als de stijging en de daling van het waterniveau (metingen 1 en 2) meer dan 10 a 15% van elkaar verschillen, moeten de metingen opnieuw gedaan worden totdat er wel overeenstemming is.

3)

Meet met een lange rolmaat het hoogteverschil tussen de keldervloer en de vloer van de bovenste verdieping. \_\_\_\_\_  
(Meet zo nodig het hoogteverschil per verdieping)

4)

Meet met een schuifmaat de binnendiameter van de buis op. \_\_\_\_\_

5)

Schat het volume van de lucht in de kolf. \_\_\_\_\_

Laat dit controleren voordat je aan je verslag begint.

### **Opdrachten voor in het verslag**

Bereken uit de stijging en daling van het water in de buis het hoogteverschil in het gebouw. Bereken hoeveel procent het met de waterbarometer bepaalde hoogteverschil afwijkt van het met de rolmaat gemeten hoogteverschil tussen de keldervloer en de vloer van de bovenste verdieping.

Geef minstens twee verklaringen waarom het met de waterbarometer bepaalde hoogteverschil afwijkt of zou kunnen afwijken van het met de rolmaat gemeten hoogteverschil. Laat hierbij het verkeerd aflezen van de stijging en/of daling van het waterniveau in de buis en de verdamping van het water in de buis en/of kolf buiten beschouwing.

Bereken uit de binnendiameter van de buis en uit het geschatte gasvolume hoeveel procent het volume van het gas in de kolf toeneemt als het water in de buis 1 cm stijgt. Als het goed is, is dit percentage voldoende klein om te kunnen stellen dat het gasvolume constant is.

De waterbarometer is zeer gevoelig voor temperatuurveranderingen in de kolf. Voor de toename van de hoogte  $\Delta h$  van het waterniveau per graad temperatuurstijging geldt bij benadering:

$$\frac{\Delta h}{\Delta T} = \frac{p}{T \cdot \rho_w \cdot g}$$

Hierin is T de absolute temperatuur (dus uitgedrukt in kelvin) en p de druk van het gas in de kolf. Bereken nu BIJ BENADERING hoeveel cm de waterhoogte stijgt als de temperatuur van het gas stijgt van 20 °C naar 23 °C. Neem voor de atmosferische druk (de druk buiten de kolf) 1 bar. Dit is gelijk aan  $10^5$  Pa.

Bewijs de laatste formule door mede gebruik te maken van de ideale gaswet voor een afgesloten gas ( $\frac{p \cdot V}{T} = \text{constant}$ ).